

все цементы по прочностным характеристикам удовлетворяют требованиям ГОСТ 31108-2003 (табл. 2).

Таблица 2

Результаты испытаний цементов по ГОСТ 30744-2001

Номер состава	НГ, мас. %	Сроки схватывания, ч-мин.		Предел прочности, МПа, через, сут.				Предел прочности после пропарива- ния, МПа, при	
				при изгибе		при сжатии			
		начало	конец	7	28	7	28	изгибе	сжатии
1	25,94	2-50	4-00	3,66	7,58	22,8	40,3	3,69	27,3
2	25,94	3-15	4-30	2,95	7,14	21,1	35,4	3,94	24,0
3	26,15	2-25	3-40	4,97	7,17	23,9	36,6	4,06	26,8
4	26,67	2-55	3-30	4,86	6,97	19,0	35,4	4,79	30,0
5	27,44	3-00	4-00	4,35	6,49	18,4	32,8	3,88	22,3
6	25,47	1-40	4-00	3,34	5,46	12,9	24,4	4,92	28,3
7	25,56	2-00	4-20	3,13	5,40	11,8	22,6	4,42	26,9
8	30,31	2-30	4-00	4,07	6,87	15,5	31,9	5,04	33,6
9	29,69	2-30	5-10	2,74	5,78	11,6	24,0	5,41	28,8
10	28,44	2-20	4-10	3,95	5,78	13,8	25,6	4,49	27,2
11	27,81	2-20	5-20	3,08	4,86	12,6	23,8	4,42	26,2

Таким образом, показана возможность применения МГШ в качестве:

- минеральной добавки без существенного снижения активности цементов;
- вспомогательного компонента минеральной добавки в составе портландцемента типа ЦЕМ I, шлакопортландцемента типа ЦЕМ III и композиционного цемента типа ЦЕМ V.

#### *Библиографический список*

1. Пьячев В.А. Использование шлаков цветной металлургии в производстве цемента: Обзорная информация. М.: ВНИИЭСМ, 1985. Вып. 1. С. 53.
2. Пьячев В.А. Состав цементов для пропариваемых бетонов / В.А Пьячев, М.Ф. Чебуков, Г.Е. Пьячева // Цемент. 1972. № 11. С. 22-23.

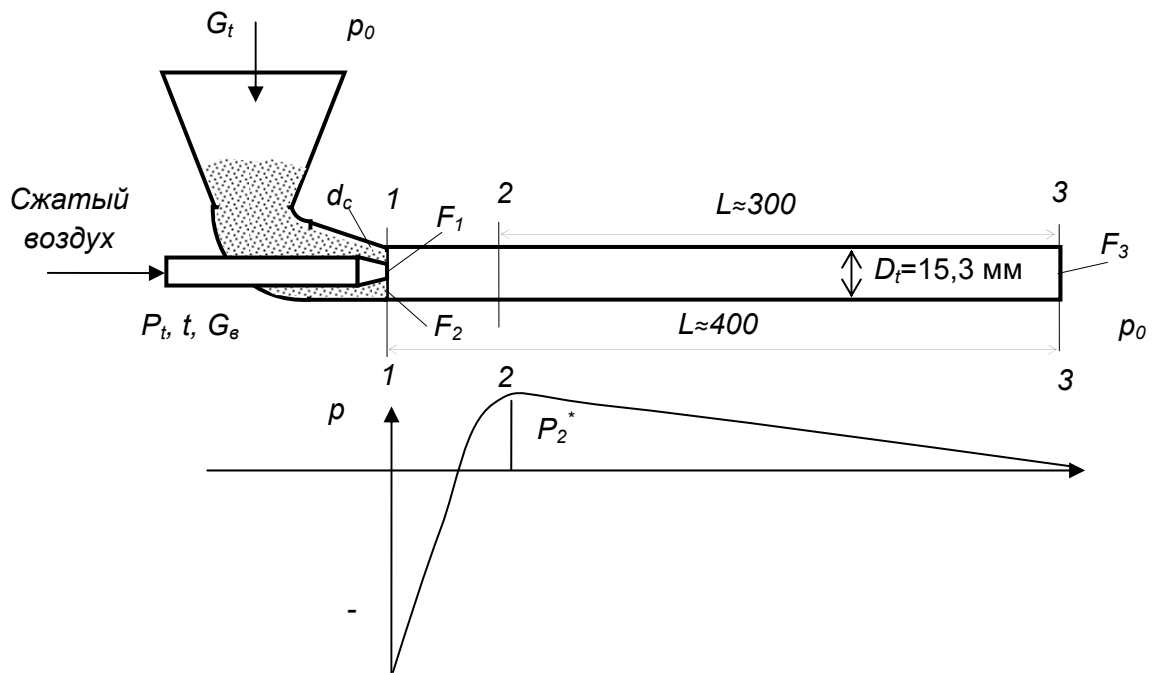
## **ИНЖЕНЕРНАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭЖЕКТОРА ДЛЯ ПОДАЧИ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

*Бараковских Д.С., Шишкин С.Ф.  
УрФУ, dimc.bar@gmail.com*

Эжекторы для подачи дисперсных материалов используются в различных устройствах, например, в струйных мельницах, системах пневмотранспорта сыпучего материала, для вдувания дисперсных частиц в печь и т.д. Правильно спроектированный эжектор позволяет получить заданные параметры двухфазного потока и при этом минимизировать расход энергоносителя.

Рассмотрим упрощенную инженерную методику расчета на примере эжектора для подачи оксида циркония в плазмотрон. Необходимая производительность по твердой фазе должна быть до 400 кг/ч.

В качестве энергоносителя используется сжатый воздух с избыточным давлением от 4 до 7 атм. Поэтому в эжекторе используется сверхзвуковое коническое сопло. Для реализации максимальной производительности по твердой фазе примем, что коэффициент эжекции по газу равен нулю, т.е. подсоса дополнительного воздуха не происходит. Такой режим, в частности может быть реализован при работе эжектора под завалом. Расчетная схема струйного насоса представлена и график изменения статического давления по длине разгонной трубки представлены на рисунке. В сечении 2-2 после завершения процесса смешения давление максимально. Полное давление в данном сечении и обеспечивает разгон и транспортировку сыпучего материала.



Расчетная схема эжектора струйного насоса

Если диаметр  $d_k$  критической части сверхзвукового сопла задан, то при известном давлении перед соплом массовый расход воздуха определится по зависимости [1]:

$$G_b = 0,0404 \sigma \frac{P_t F_k}{\sqrt{T}}, \text{ кг/с}, \quad (1)$$

где  $F_k$  – площадь критического сечения сопла,  $\text{м}^2$ ;  $P_t$  – полное давление перед соплом, Па;  $T$  – абсолютная температура торможения перед соплом, К,  $\sigma$  – коэффициент восстановления полного давления в сопле.

Внутренний диаметр разгонной трубы выбирается из стандартного ряда. Скорость потока должна обеспечивать устойчивый режим транспортирования и заданную производительность. Выберем стандартную трубу DN15, при толщине стенки 3,0 мм, внутренний диаметр  $D=15,3$  мм. При заданном расходе воздуха можно определить производительность струйного насоса по твердой фазе и остальные параметры работы в следующем порядке.

Геометрический параметр эжектора  $\alpha$ , определяется соотношением:

$$\alpha = F_1 / F_2 = F_1 / (F_3 - F_1), \quad (2)$$

где  $F_1$ ,  $F_3$  – соответственно площадь выходного сечения сопла и площадь сечения трубы,  $\text{м}^2$ .

При принятых диаметрах сопла  $d_k = 2$  и трубы  $D = 15,3$  мм  $\alpha = 0,025$ . В этом случае можно определить полное давление в сечении 2-2 по приближенной формуле Абрамовича [1]:

$$P_2^* = \frac{\alpha P_t + p_0}{1 + \alpha}, \quad (3)$$

где  $P_t$  – полное абсолютное давление перед соплом ( $P_t = 6,627$  атм),  $p_0$  – внешнее давление в загрузочной воронке,  $P_2^*$  – полное давление в начале разгонной трубки после камеры смешения.

При принятых и расчетных параметрах  $P_2^* = 1,138$  атм. Таким образом, сопротивление разгонной трубки составляет  $dP = P_2^* - p_0 = 1,138 - 1,0 = 0,138$  атм. Скорость воздушного потока на срезе разгонной трубки определится из уравнения неразрывности

$$w = \frac{G_B}{\rho_{B3} F_3} = \frac{0,0043}{1,204 \cdot \pi \cdot 0,0153^2 / 4} = 19,5, \text{ м/с}. \quad (4)$$

По имеющимся опытным данным, конечную относительную скорость  $j$  можно принять  $j=0,9$ . Тогда скорость частиц на срезе разгонной трубки будет

$$u_3 = w_3 j = 19,5 \cdot 0,9 = 17,5, \text{ м/с}. \quad (5)$$

Сопротивление при пневмотранспорте по горизонтальной трубе можно определить как сумму потерь давления по длине  $dP_L$  и потерь на разгон  $dP_R$  материала [2]. Потери давления по длине  $dP_L$  в условиях пневмотранспорта определяются по зависимости:

$$dP_L = \zeta \frac{L}{D} \rho \frac{w^2}{2} (1 + K\mu), \text{ Па}, \quad (6)$$

где  $\zeta$  – коэффициент сопротивления при движении газа по трубе определяем по формуле Блазиуса;  $L$ ,  $D$  – соответственно длина и диаметр разгонной трубки, м;  $\rho$  – плотность воздуха,  $\text{кг/м}^3$ ;  $\mu$  – расходная концентрация материала,  $\text{кг/кг}$ ;  $K$  – коэффициент Гастерштадта. На основании опытных данных можно принять  $K=1$ .

Потери давления на разгон материала  $dP_R$  в условиях пневмотранспорта определяются по зависимости:

$$dP_R = \frac{G_t(u_3 - u_1)}{F_3} = \frac{G\mu(u_3 - u_1)}{F_3}. \quad (7)$$

Скоростью частиц в начальном сечении можно пренебречь.

Затем из уравнения (8) находят расходную концентрацию

$$dP = 0,138 p_0 = \zeta \frac{L}{D} \rho \frac{w^2}{2} (1 + K\mu) + \frac{G\mu(u_3 - u_1)}{F_3} \quad (8)$$

Расход твердой фазы определится по зависимости

$$G_t = G_B \mu. \quad (9)$$

Как показывают расчеты по уравнениям (8) и (9), производительность по твердой фазе  $G_t = 406$  кг/ч, расходная концентрация составит  $\mu = 26,18$  кг/кг.

Плотность двухфазного потока через сечение разгонной трубки составит

$$G_{df} = \frac{\sqrt{GG_t}}{F_3} = \frac{G\sqrt{\mu}}{F_3} = 119.8, \text{ кг/(с}\cdot\text{м}^2\text{)}. \quad (10)$$

Можно сделать оценку производительности и другим методом.

В работе [3] были проведены исследования по определению параметров эжектирования песка и получена экспериментальная зависимость, связывающая полное давление в начале разгонной трубки после камеры смешения и плотность двухфазного потока:

$$G_{df} = 340.12P_2^{*0.3523}. \quad (11)$$

Расчет по приведенной зависимости, показывает, что плотность двухфазного потока составит  $G_{df}=169,5 \text{ кг/(с}\cdot\text{м}^2\text{)}$ . Это несколько выше результата предыдущего расчета. Объясняется отличие необходимостью определения опытным путем коэффициента Гастерштадта. В целом обе методики согласуются между собой.

#### *Библиографический список*

1. Абрамович Г.Н. Прикладная газовая динамика: учеб. руководство для вузов: в 2 ч. / Г. Н. Абрамович. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 1991. 600 с.
2. Шишкин А.С. Решение инженерных задач в Excel: учебное пособие / А.С. Шишкин, С.Ф. Шишкин. Екатеринбург: УрФУ, 2012. 365 с.
3. Шишкин С.Ф. Процесс эжектирования твердых частиц в струйной мельнице: Доклад на международной научно-технической конференции «Физико-химия и технология оксидно-силикатных материалов» / С.Ф. Шишкин, А.С. Шишкин // Вестник УГТУ (Екатеринбург). 2000. № 1. С. 230-233.

## **СИНТЕЗ АЛЮМОМАГНЕЗИАЛЬНОЙ ШПИНЕЛИ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА ВТОРИЧНОГО АЛЮМИНИЯ**

*Баяндина М.А., Баяндина Т.В., Земляной К.Г.  
УрФУ, bmasha07@mail.ru*

Отходы производства вторичного алюминия (ОПВА) – это продукт переработки отвальных шлаков, образующихся при плавке вторичного алюминия. Перерабатывают отвальные шлаки с целью извлечения из него металлического алюминия. После извлечения металлического алюминия образуются тонкодисперсные отходы, которые складировать в отвалы из-за отсутствия рациональной технологии утилизации. Таких отходов только в Российской Федерации накопилось около 50 млн т, а на Урале – почти 2,5 млн т.

Отвалы занимают сотни гектаров плодородных земель. Под воздействием атмосферных осадков тонкодисперсные отходы быстро разлагаются, выделяя токсичный газ – аммиак, а соли, содержащиеся в них, растворяясь, загрязняют почву, поверхностные и подземные воды. Тонкодисперсные частицы отходов легко поднимаются ветром и переносятся на значительные расстояния, загрязняя как атмосферу, так почву и водоемы. Это наносит экологический вред окружающей среде и экономический ущерб России за счет отчуждения больших площадей земли и потерь ценного минерального сырья.